

Benjamin Benz, Thorsten Thiele

Kammerjäger

Fehlersuche in elektronischen Schaltungen

Nicht nur Software leidet gelegentlich unter Bug-Befall. Beim Aufbau und Entwurf von elektronischen Schaltungen ist schnell ein Bauteil falsch herum eingesetzt, eine Lötstelle schadhaf oder eine Leiterbahn gerissen. Die meisten dieser Probleme lassen sich jedoch mit einfachen Mitteln aufdecken und beseitigen.

Nach mehreren Stunden Löten, Kabelkonfektionieren und Schrauben steht der große Moment bevor. Die eigene Schaltung oder der Bausatz soll zum ersten Mal Strom bekommen. Die Spannung steigt. Der Hauptschalter gibt sie mit einem sanften Klick frei und ...

Nichts. Oder schlimmer – es steigen ein paar kleine Dampf Wolken auf, mit leisem Zischen schwitzen Elkos ihr Elektrolyt aus und ICs werfen mit Kunststoffsplittern um sich. Aber selbst bei einem solchen GAU muss man nicht das ganze Projekt in der nächsten Recycling-Tonne versenken. Mit ein paar Tricks und

systematischem Vorgehen findet selbst ein Einsteiger die meisten Fehler in elektronischen Schaltungen.

Systematisches Vorgehen bedeutet unter anderem, bereits im Vorfeld Probleme zu vermeiden. Der Kasten „Heißes Eisen“ gibt Tipps zum Löten. Tritt dennoch ein Fehler auf, grenzt man zuerst die Ursache ein. Bei selbst entworfenen Schaltungen kommen alle Arten von Fehlern in Frage: Entwurfs- und Aufbaufehler sowie defekte Bauteile. Das erschwert die Suche erheblich. Bei einem Bausatz wie dem c't-Bot sind Entwurfsfehler und defekte Komponenten weniger wahrscheinlich –

wenn auch nicht ganz auszuschließen. Hier dürfte in den allermeisten Fällen ein Aufbaufehler vorliegen. Im schlimmsten Fall zieht dieser dann jedoch Defekte bei Bauteilen nach sich. Repariert man ein Gerät, das vorher schon einmal funktioniert hat, sind hingegen defekte Bauteile die Hauptverdächtigen.

Im Folgenden wollen wir exemplarisch die Fehlersuche bei einem c't-Bot beschreiben, dessen Motoren nach dem Zusammenbau [3] lahmen und dessen IR-Augen nervös zucken. Die Methodik lässt sich ohne weiteres auf viele mögliche Fehler übertragen – unabhängig davon, ob sie beim c't-Bot oder einer eigenen Schaltung auftreten.

Zappelzeiger

Zur Grundausstattung eines Elektronikbastlers gehören ein paar Mess- und Prüfmittel. Viel Geld muss man dafür jedoch nicht unbedingt anlegen. Die wichtigsten trägt man sogar mit sich herum: Zwei aufmerksame Augen und ein wacher Verstand entdecken schadhafte Lötstellen, falsch bestückte Bauteile oder ein umgeknicktes IC-Beinchen meist schneller als teure Messgeräte. Ein genaues Studium der Anleitung oder der

FAQ [1] fördert beispielsweise zu Tage, dass der c't-Bot nichts Sinnvolles tut, wenn die Fuse-Bits des Prozessors nicht korrekt gesetzt sind.

Neben ein paar Kabeln mit Krokodilklemmen, einer Pinzette und einer Lupe gehört ein einfaches Multimeter an den Arbeitsplatz. Es misst Spannung, Widerstand, Durchgang oder Stromaufnahme. So etwas gab es vor kurzem bei einem großen Discounter für ganze drei Euro – Weltwunder darf man davon nicht erwarten, für die Fehlersuche genügt es aber allemal. Größere und teurere Messgeräte bieten eine höhere Messgenauigkeit, mehr Bedienkomfort und meist bessere Messkabel. Besonders auf Letztere sollte man beim Neukauf achten. An Geräte mit 4-mm-Steckbuchsen kann man verschiedene Prüfkabel anstecken oder sie bei Defekt preiswert austauschen.

Ob man ein analoges oder ein digitales Messgerät bevorzugt, ist reine Geschmackssache. Digitale Geräte zeigen einen Wert genau an. Beim analogen Zeigerinstrument muss man mitunter die Skala umrechnen und die Stellung des Zeigers zwischen zwei Markierungen abschätzen. Andererseits vermittelt das Zeigermultimeter schnell einen ungefähren Wert und eine Tendenz. Die automatische Bereichsumschaltung beim digitalen Messgerät führt hingegen manchmal zu einigen Sekunden Wartezeit. Ist die zu messende Größe nicht konstant, neigen digitale Geräte mitunter zu nervösem Zahlensalat.

Mäusekino

Zum Messen von schnellen Signaländerungen wie dem Schwingen eines Quarzes oder der PWM-Ansteuerung [2] der Bot-Motoren scheidet das Multimeter aus. Vermutet man ein Problem in einem solchen Schaltungsbereich, führt kein Weg mehr um ein Oszilloskop herum. Es stellt einen Spannungsverlauf grafisch dar. Für viele Messungen reicht schon ein gebrauchtes Einkanalgerät, das man für ein paar Euro bei eBay ersteigern kann. Selbst wenn dessen letzte Kalibrierung schon Dekaden zurückliegt, vermittelt es einen Eindruck der Kurvenform. Zweikanaloszilloskope sind gebraucht nur unwesentlich teurer

und viel flexibler. Der zweite Kanal zeigt entweder ein weites Signal an oder dient der Synchronisation (Trigger) zwischen Messung und Schaltung.

Wichtigstes Merkmal eines analogen Oszilloskops ist die Bandbreite. Sie wird in MHz angegeben und bezeichnet die Frequenz, die auf dem Weg von der Eingangsbuchse bis zum Bildschirm 3 dB verliert. Je weiter die Frequenz eines gemessenen Signals die 3-dB-Frequenz überschreitet, um so stärker wird es abgeschwächt. Mit einer Bandbreite von etwa 50 MHz ist man für den Hobbybereich meist auf der sicheren Seite. Ganz einfache Geräte mit nur 5 bis 10 MHz produzieren hingegen schon sehr deutliche Fehler, wenn man etwa die Schwingung eines 16-MHz-Quarzes betrachtet.

Wer bereit ist, mindestens 700 bis 800 Euro zu investieren, greift zum digitalen Speicheroszilloskop – leider tauchen sie auf dem Gebrauchtmrkt eher selten auf. Es stellt die gemessenen Werte auch dann noch dar, wenn das Signal nicht mehr anliegt. Mit Hilfsmitteln wie einem Cursor kann man Periodendauer, Amplitude und viele weitere Parameter exakt bestimmen. Etwas preiswerter sind PC-Messgeräte ohne eigenes Display. Die Darstellung der Signale übernimmt ein (Windows-)Programm. Neben der analogen Bandbreite ist die Abtastrate bei allen digitalen Oszilloskopen entscheidend. Sie sagt aus, wie oft das Gerät einen Messwert aufnimmt. Um ein Sinussignal fehlerfrei zu analysieren, bedarf es mindestens zwei Messungen pro Schwingung. Bei komplizierteren Signalformen muss man deutlich öfter abtasten. So dürfte man mit einer Abtastrate

von 50 MSamples/s Rechtecksignale mit maximal 5 MHz ordentlich darstellen können.

Wer misst, misst Mist

Messergebnisse bedürfen grundsätzlich der Interpretation: Obwohl Messgeräte oft viele Nachkommastellen anzeigen, muss man im Vorfeld abschätzen, welchen Messwert man mit welcher Genauigkeit erwartet. Nur so ist eine korrekte Deutung des abgelesenen Wertes möglich. Misst man beispielsweise die stabilisierte Versorgungsspannung des c't-Bot hinter IC10 und liest 4,925 Volt ab, wäre der Ausruf „falsch“ verfrüht. Ein Blick ins Datenblatt des Spannungsreglers L4940V5 offenbart, dass dieser als Ausgangsspannung einen Wert zwischen 4,9 und 5,1 Volt liefert. Besonders digitale Messgeräte verleiten dazu, der dritten oder vierten Nachkommastelle eine übermäßige Bedeutung zuzumessen.

Im genannten Beispiel wäre selbst ein Messwert von 4,8 oder 4,7 V auch noch in Ordnung, ein Wert von 2,6 V jedoch sicher nicht. Selbst bei einem solchen vom Erwartungswert deutlich abweichenden Ergebnis sollte man stets auch die Messung selbst kritisch betrachten. Ist der Minuspol des Messgerätes nicht sicher mit GND verbunden oder misst man versehentlich gar gegen eine Signalleitung, können die seltsamsten Werte auftreten. Auch ein falsch gewählter Messbereich oder eine ungeeignete Messart führen in die Irre. In der AC-Einstellung zeigt das Multimeter beispielsweise für die Betriebsspannung irreführende Werte an: Es misst nur den Wechselspannungsanteil (AC) und vernachlässigt die eigentlich gewünschte Gleichspannung (DC).

In einer eingeschalteten Baugruppe kann man Spannungen und Ströme messen, nicht jedoch Bauteile oder Leiterbahnen prüfen. Im Widerstands-Messbereich legt das Messgerät selbst



Oszilloskope zeigen Spannungsverläufe über die Zeit an. Möchte man das Timing von Digitalschaltungen, das Schwingen eines Quarzes oder analoge Sensoren prüfen, so leistet es wertvolle Dienste.

eine kleine Spannung an das Bauteil und misst den fließenden Strom. Spannungsquellen in der Schaltung selbst stören diese Messung und führen zu unvorhersagbaren Ergebnissen. Will man Bauteile wie Widerstände oder Dioden prüfen, so muss man diese in der Regel auslöten.

Mitunter ist es – eine gut bestückte Teilekiste vorausgesetzt – einfacher, ein verdächtiges Bauteil einfach auszutauschen, als lange daran herumzumessen. Das herausgenommene Teil wandert dann am besten sofort in die Mülltonne, sonst landet es womöglich in der nächsten Schaltung und verursacht dort die nächste Fehlersuche. Bauteile mit bereits optisch erkennbaren Schäden gehören in jedem Fall in den Müll – jeder Versuch, geblähte Elkos, verschmorte Widerstände oder aufgeplatzte ICs nach dem Prinzip: „Könnte ja vielleicht doch noch ...?“ zu untersuchen, ist vertane Zeit. So einem Bauteil kann man nicht mehr vertrauen, selbst wenn es scheinbar noch Restfunktionen hat. Bereits beim nächsten Einschalten kann es endgültig sein Leben aushauchen.

Drum prüfe, wer sich ...

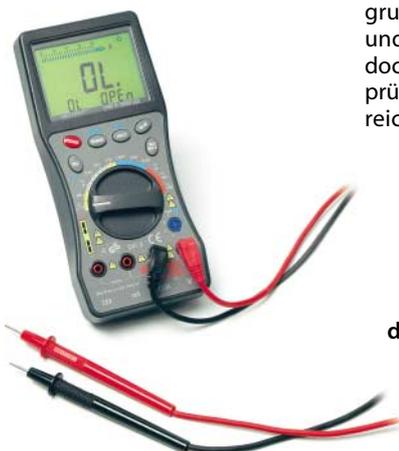
Bei der Fehlersuche sollte man auch einfache Sachverhalte nicht voraussetzen, sondern überprüfen. So lohnt es sich, systematisch mit den elementaren Dingen zu beginnen, bevor man sich an die komplette Schaltung macht. Das folgende Beispiel eines c't-Bot, der seine Räder nicht drehen will, zeigt, wie man Versorgungsspannungen, Signalleitungen und komplette Baugruppen Stück für Stück prüft. Die Methodik lässt sich ohne wei-

teres auf andere Schaltungen und Probleme übertragen.

Zwei Gleichspannungsmotoren treiben die Räder des c't-Bot an [2]. Trennt man die Motoren von der Restschaltung ab und verbindet sie direkt mit dem Akkupack, sollten sie sich drehen. Dreht das Rad, ist weder der Akku entladen noch der Motor defekt und auch nicht versehentlich so eingebaut, dass das Rad mechanisch blockiert. Das erste Glied der Kette ist nun geprüft.

Es folgt die Kontrolle der Versorgungsspannungen auf der Hauptplatine. Ein Blick in den Schaltplan zeigt hinter dem Anschluss des Akkupacks einen Schalter, gefolgt von der Verpolungsschutzdiode D3. Dahinter gehen die Leitungen (POW3) direkt zum Motortreiber (IC2). Die Versorgungsspannung für die anderen Schaltungsteile liefert der Spannungsregler IC10.

Nun stellt man das Multimeter auf Gleichspannung (DC) und verbindet dessen schwarzes Kabel (COM oder GND) mit dem Minuspol des Akkupacks. Mit der freien Prüfspitze handelt man sich nun den Weg des Stromes entlang. Vor der Diode D3 sollte die volle Akkuspannung (POW1) anliegen. Wenn nicht, ist entweder der Akkupack verpolt (negative Spannung), die Leiterbahn zwischen Diode und Akkupack unterbrochen, oder die Schaltung verursacht einen Kurzschluss. Die ersten beiden Ursachen lassen sich leicht prüfen. Ein Kurzschluss kann sowohl durch fehlerhafte Lötstellen oder Kabelreste auf der Platine als auch durch defekte Bauteile verursacht werden. Um ihn einzugrenzen, zieht man erst einmal alle Sensorplatinen ab und ent-



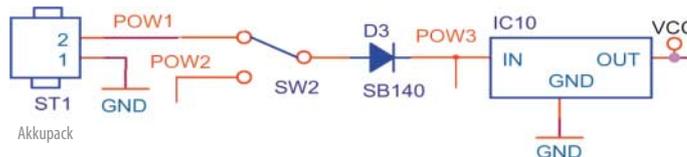
Multimeter kosten nur ein paar Euro und reichen dennoch aus, um die meisten Fehler in elektronischen Schaltungen aufzuspüren.

fernt dann nach und nach alle ICs aus ihren Sockeln. Lötet man beispielsweise IC10 aus, lässt sich leicht prüfen, ob der Kurzschluss davor und damit im Bereich des Motortreibers oder dahinter im Bereich der Logik liegt. So kreist man Stück für Stück den Fehler ein. Oft ist ein falsch herum in den Sockel gestecktes IC die Quelle des Übels.

Stromabwärts

Stimmt die Versorgungsspannung so weit, sollten hinter der Diode rund 0,3 V weniger als POW1 anliegen. Trifft das nicht zu, sitzt entweder die Diode falsch herum oder sie ist defekt. Viele Messgeräte besitzen einen Dioden-Messbetrieb. In diesem zeigen sie „unendlich“ für die Sperrrichtung der Diode an. In Durchlassrichtung sieht man die Flussspannung der Diode. Bei normalen Dioden beträgt sie etwa 0,7 V, bei Schottky-Dioden etwa 0,3 V und bei Leuchtdioden je nach Farbe etwa 2 bis 4,5 V. Der Diodentestmodus ist eigentlich schon Luxus – auch der normale Widerstandsbe- reich reicht für eine Funktionsprüfung der Diode: In einer Richtung muss ein sehr hoher Widerstand zu messen sein, in der Gegenrichtung ein sehr kleiner. Die absoluten Werte interessieren nicht. Nur der Unterschied spielt eine Rolle. Eine große Anzeige in beiden Richtungen weist ebenso wie ein beidseitiger Durchgang auf ein defektes Bauteil hin.

Liegt hinter D3 die erwartete Spannung, sollte sie auch an Pin 8 von IC2 und dem Eingang von IC10 ankommen. Da keine weiteren Bauteile dazwischen liegen, bleiben sonst nur defekte Leiterbahnen oder Lötstellen als Fehlerquelle. An seinem Aus-



Um die Schaltung vor Verpolungen zu schützen, sitzt zwischen dem Akkupack und dem Spannungswandler eine Schutzdiode.

gang sollte IC10 – im Rahmen der Messgenauigkeit – stabile 5 V liefern. Diese Spannung muss nun an allen Pins zu messen sein, die im Schaltplan [1] mit Vcc verbunden sind. Dazu zählen auch IC1 (Pin 10) und IC3 (Pin 14).

Bekommen alle Bauteile genug Spannung, trennt man die Schaltung vom Akkupack ab und testet mit dem Durchgangsprüfer, ob auch die Masseleitung stimmt. Das eine Messkabel hängt man an ST1 (Pin 1) und tastet mit dem anderen alle Massepunkte (GND im Schaltplan) durch. Bessere Durchgangsprüfer signalisieren akustisch eine gute Verbindung, schlichere zeigen nur den Widerstand an. Alles über 5 Ohm ist definitiv zu viel. Vermittelte Prüfspitzen, Flussmittelreste oder verdrehte Bauteilbeinchen können jedoch die Messung stören.

Treibjagd

Bekommen alle Bauteile ausreichend Spannung, steht als nächster Verdächtiger der Motortreiber auf der Liste. Ein Blick ins Datenblatt des L293D zeigt, dass dieser aus zwei voneinander unabhängigen identischen Treibern besteht. Die Enable-Pins (Pin 1 und 9) schalten bei einem High-Pegel die jeweilige Treiberstufe ein. Die Steuerpins 2 und 7 beziehungsweise 10 und 15 legen fest, wie herum der Motor

gepolt wird. Er dreht natürlich nur, wenn ein Pol auf Versorgungsspannung und der andere auf Masse liegt. Dies lässt sich sehr gut prüfen: Entfernt man die CPU und IC3, kann man mit kurzen Drahtstücken die Eingänge des Motortreibers direkt auf Plus oder Minus legen. Dreht der Motor, so ist das Treiber-IC in Ordnung.

Mit wieder eingestecktem IC3 – aber noch ohne CPU – kann man nun mit den Drahtbrücken die Leitungen PC6 und PC7 schalten. Funktioniert auch dies, so verbleiben nur noch der Prozessor oder die Leitungen dorthin als Fehlerquellen. Im laufenden Betrieb steuert der Prozessor PC6 und PC7 sowie PWM1 und PWM2. Die Logikpegel auf den beiden erstgenannten Leitungen zeigt ein Multimeter, für die PWM-Leitungen bedarf es eines Oszilloskops. Steht dies nicht zur Verfügung, schafft ein selbstgeschriebenes Testprogramm Abhilfe: Es kann die Leitungen direkt als normale Ausgänge ansprechen und so die PWM-Timer umgehen. Die Motoren drehen dann nur noch mit maximaler Geschwindigkeit, aber die Steuersignale sind mit einfachen Mitteln messbar.

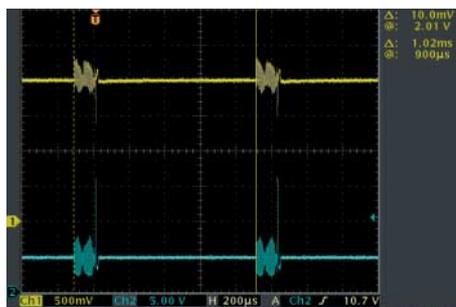
Sehstörung

Auch deutlich komplexere Fehler lassen sich durch systematisches Vorgehen relativ leicht eingekreisen. Als Beispiel dient ein

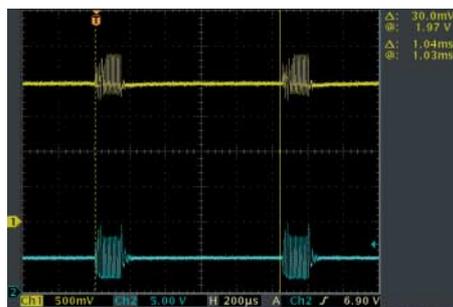
Problem, das bei vielen c't-Bots auftritt, wenn man die auf der Projektseite [1] beschriebenen Modifikationen noch nicht durchgeführt hat. Die IR-Abstandssensoren (GP2D12) liefern stark schwankende Werte. Die Ausgaben des Testprogramms zappeln. Es gilt zu ergründen, was die Messung stört. Schwankende analoge Spannung oder gar Störspitzen überfordern die trägen Multimeter. Ein Oszilloskop stellt sie jedoch problemlos dar.

Allgemein erfassen Sensoren veränderliche Werte. Jagt man einen Fehler, muss man als erstes dafür sorgen, dass die zu messenden Werte reproduzierbar sind. Nur so lassen sich Messfehler von schwankenden Umweltbedingungen separieren. Ein grauer Pappkarton 20 cm vor dem c't-Bot und eine sanfte indirekte Beleuchtung schaffen eine definierte Testumgebung. Direkte Lichtstrahlen könnten die Messung beeinflussen. In der Theorie sollten die Abstandssensoren nun eine konstante Ausgangsspannung liefern, die der Prozessor digitalisiert und im Display anzeigt. Zeigt das Oszilloskop aber bereits hinter dem Sensor (ABSTL oder ABSTR) deutliche Spannungsschwankungen, so scheiden Software-Probleme weitgehend aus.

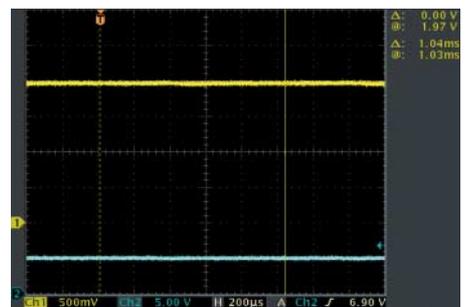
Da die Signalspannung direkt vom Sensor kommt und dieser sonst nur noch zwei Pins für die Stromversorgung hat, ist der Sensor der Hauptverdächtige. Misst man den GP2D12 getrennt vom c't-Bot und versorgt ihn direkt aus einem Netzteil, so zeigt das Oszilloskop immer noch starke Schwankungen des Ausgangssignals. Kurze Spannungsspitzen – so genannte Spikes – überlagern die Messwerte.



Die Störungen auf dem Ausgang des Abstandssensors (gelb) stammen von der Versorgungsspannung (blau).



Ein 100-nF-Kondensator entfernt die kurzen hohen Spikes – die niedrigeren, aber längeren Störungen jedoch nicht.



Ein zweiter, sehr viel größerer Kondensator beseitigt auch die letzten Störungen.

Setzt man voraus, dass der Sensorhersteller Sharp hier nicht ein grob fehlerhaftes Sensordesign auf den Markt geworfen hat, bleibt nur die Erklärung, dass der Sensor kurzfristige Stromspitzen verursacht. Diese können über die Zuleitungskabel vom Netzteil nicht schnell genug kompensiert werden (siehe S. 242). Die Universalwaffe des Elektroniklers gegen Spikes auf der Versorgungsspannung sind 100-nF-Kondensatoren ganz dicht am Bauteil. Auf Signalleitungen haben sie hingegen nichts zu suchen, denn sie verfälschen das Nutzsignal zu stark.

Mit einem davon zwischen Pin 2 (GND) und 3 (Vcc) des Sensors verschwinden die hohen Spikes. Es bleiben jedoch nach wie vor kleinere Störungen. Diese beseitigt ein weiterer parallel geschalteter Kondensator, diesmal mit 100 µF. Der kleine Kondensator glättet hochfrequente Störungen der Versorgungsspannung, der große übernimmt die niederfrequenten. Es kommt dabei fast nur auf die Frequenzeigenschaften der Kondensatoren an. Die tatsächliche aufaddierte Kapazität ($100 \text{ nF} + 100 \text{ µF} = 100,1 \text{ µF}$) spielt kaum eine Rolle.

Mit den Ergebnissen dieses kleinen Versuches sind auch die schwankenden Messwerte im Display des c't-Bot leicht zu erklären: Die Versorgungsspannung des GP2D12 kommt nicht direkt vom Spannungsregler. Um Strom zu sparen, schaltet ein Transistor (FET) sie nur bei Bedarf ein. Allerdings weist dieser laut Datenblatt im durchgesteuerten Zustand einen nicht unerheblichen Restwiderstand auf. Dazu kommen relativ lange Zuleitungswege über die Kabelbäume und Sensorplatinen – es ist also durchaus plausibel, dass zwei Pufferkondensatoren direkt an den Beinchen des Sensors die Fehler beseitigen können.

Eine Anleitung für diese Modifikation befindet sich übrigens auf der Projektseite. Selbst mit den Kondensatoren bleiben noch Restschwankungen. Einige davon kann man in Software, beispielsweise durch Mittelwerte abfangen. Je nach Umgebungsbeschaffenheit beeinflussen sich aber die beiden Sensoren durch Reflexionen auch gegenseitig. Kleine Scheuklappen wirken Wunder – den Messbereich be-

einflussen sie nicht, da der Sensor ohnehin nur einen Erfassungswinkel von rund drei Grad hat.

Hartnäckig

Will sich ein Fehler trotz stundenlanger Suche partout nicht finden lassen, hilft oft ein wenig Distanz. Schläft man eine Nacht über das Problem oder diskutiert darüber mit einem Bekannten,

ergeben sich neue Betrachtungsweisen. Bei nochmaliger Prüfung aller Messungen und Annahmen stellt sich dann mitunter heraus, dass man einen Parameter als „in Ordnung“ angenommen hat, anstatt ihn nachzumessen. Auch ein fehlinterpretierter Messwert fällt am nächsten Tag vielleicht eher auf. Ein stichwortartig geführtes Log hilft bei der Fehlersuche unheimlich. (bbe)

Literatur

- [1] Webseite zum c't-Bot-Projekt: www.heise.de/ct/ftp/projekte/ct-bot
- [2] Benjamin Benz, Carl Thiede, Thorsten Thiele, Spielgefährten, Roboter für Lötler, Simulator für Softwerker, c't 2/06, S. 130
- [3] Benjamin Benz, Carl Thiede, Thorsten Thiele, Hallo Welt!, Aufbau und Inbetriebnahme des c't-Bot, c't 04/06, S. 208

Heißes Eisen

Beachtet man bereits beim Bestücken einer Platine ein paar Dinge, so spart man sich unter Umständen viele Stunden mühsamer Fehlersuche. Bei Bausätzen wie dem c't-Bot lassen sich die meisten Fehler auf schlechte Lötstellen oder beim Löten beschädigte Bauteile zurückführen. Es gilt: Gute Vorbereitung ist die halbe Miete. LötKolben, Lötpistolen und Lötmitel aus der Sanitärtechnik, der Dachrinnenklempnerei oder dem Holz-Branding sind tabu. Die Temperaturen stimmen nicht, die Flussmittel können Säuren enthalten oder die Zinnlegierungen haben falsche Schmelzpunkte.

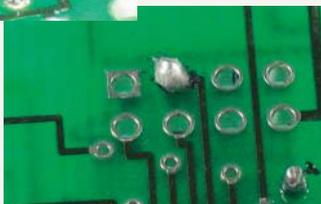


Gute Lötstellen erinnern an einen glänzenden Vulkankegel.

Die mitunter sehr preiswerten Einfachkolben ohne Temperaturregelung eignen sich nur mäßig. Lässt man sie eine Weile eingeschaltet im Halter, ist die Spitze zu heiß, nach einigen hintereinander bearbeiteten Lötstellen dann zu kalt. Wer ohnehin vorhat, etwas häufiger zu basteln, sollte in einen temperaturgeregelten ElektroniklötKolben oder noch besser eine Lötstation mit ausreichend Leistungsreserve (50 bis 80 Watt) in-



100 bis 200 Euro muss man für eine temperaturgeregelte Lötstation investieren. Dafür dosiert sie die Hitze präzise.



Matte oder kugelförmige Lötstellen sowie solche, die das Loch nicht völlig umschließen, führen zu Kontaktproblemen.

vestieren. Das reicht selbst für Reparaturen an Geräten, die schon bleifrei gelötet sind. Dazu bedarf es etwas höherer Temperaturen.

Für den Zusammenbau von Bausätzen und eigenen Entwicklungsaufbauten gibt es keinen Grund, Bleifrei-Technik einzusetzen: Die RoHS-Richtlinie schreibt dies nur für kommerziell hergestellte Geräte vor. Bleihaltiges Löten ist für Privatanwender keineswegs verboten und wesentlich einfacher in der Handhabung. Beim bleifreien Löten müssen die Temperaturen höher sein, die Lötzeiten verlängern sich und die Qualität der Lötstellen lässt sich mit bloßem Auge kaum noch prüfen.

Beim Löten selbst kommt es darauf an, die beiden zu verlötenden Flächen (beispielsweise Beinchen eines Bauteils und LötPad auf der Platine) schnell auf die erforderliche Temperatur zu bringen und erst dann ein wenig flussmittelhaltiges Lötzinn zuzugeben. Dann fließt das Zinn um den Bauteileanschluss herum und – sofern

die Bohrung durchkontaktiert ist – in diese hinein und füllt sie aus.

Fehlerteufel

Beim Löten gilt keinesfalls das Motto „Viel hilft viel“. Zu viel Hitze lässt die Bauteile innerlich verglühen. Zu viel Lötzinn bildet Kugeln, die unter Umständen Kurzschlüsse verursachen. Verzinnt man zuerst beide Flächen üppig und versucht dann, sie ohne weiteres Lötzinn miteinander zu verschmelzen, erhält man oft nur eine nicht leitende Klebestelle. Das schon einmal geschmolzene Zinn ist dann an der Luft bereits etwas oxidiert und stört die Verbindung. Fügt man hingegen beim Löten ein wenig neues Lötzinn und damit Flussmittel zu, löst Letzteres die Oxidschicht auf.

Die so genannte kalte Lötstelle entsteht, wenn der LötKolben zu schwach oder zu kalt ist. Auch das verfrühte Zuführen von Zinn – bevor beide Flächen heiß sind – oder eine Bewegung des Bauteils beim Erkalten führen zu schlechten Verbindungen. Mit dem bloßen Auge erkennt man eine kalte Lötstelle am fehlenden Glanz oder einer Perlenform. Bei einer guten Lötstelle bildet das Lot eine Kegelform wie bei einem Vulkan und glänzt. Nur bleifreie Lötstellen dürfen eine stumpfe Oberfläche aufweisen.

Retourkutsche

Mitunter will man den Lötvorgang wieder rückgängig machen, meist zum Austauschen von oder Messen an Bauteilen.

Am besten geht das mit einer professionellen Entlötstation mit elektrischer Pumpe. Sie saugt das Lot durch ein Loch in der Entlötspitze ab. Deutlich preiswerter sind Entlötlitze oder Handentlötpumpen.

Bauteile mit nur wenigen Beinchen zieht man nach dem Erhitzen der Lötstelle vorsichtig heraus. Dabei muss das Lot die ganze Zeit flüssig sein, denn sonst reißt das Pad der Platine ab. Bei Bauteilen mit vielen Kontakten wie ICs funktioniert dieses Prozedere nur, wenn man das Bauteil opfert und zuerst alle Anschlüsse vorsichtig am Bauteilekörper abschneidet und dann einzeln auslötet.



Günstige Hilfsmittel wie Entlötumpen oder -litze reichen aus, um Bauteile ohne Beschädigung der Platine wieder zu entfernen.

Vor dem Einsetzen eines neuen Bauteils muss das alte Lot aus den Löchern heraus. Am besten geht das mit Entlötlitze. Dieses feine, mit Flussmittel getränkte Kupfergeflecht saugt das Lot auf. Man legt es auf die Lötstelle und erhitzt diese durch die Litze hindurch – ein LötKolben mit ausreichend Wärmeleistung ist dafür Voraussetzung.

Handentlötpumpen erzeugen kurzfristig einen Staubsaugereffekt, indem eine Feder auf Knopfdruck einen Kolben zurückzieht. Leider entsteht dabei ein Rückstoß, der unter Umständen zur Beschädigung von Leiterbahnen führt. Mit etwas Geschick kann man aber mit beiden Techniken auch vielpolige Bauteile so auslöten, dass sie hinterher weiter verwendbar sind.

 Soft-Link 0612240

